Aus dem Zahnärztlichen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. Wasmuth

Ueber die schädigende Wirkung der Silikatzemente auf lebendes Gewebe

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Zahnheilkunde
einer hohen Medizinischen Fakultät der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Hans Heinrich Warneken
aus Bremen

1939

Buchdruckerei Karl Bölzle, Tübingen, Marktgasse 10

Dekan: Professor Dr. Stickl

Berichterstatter: Professor Dr. Wasmuth

Zum Druck genehmigt von der Medizinischen Fakultät Tübingen

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549608_0057

Schon frühzeitig, nach der vor nunmehr 35 Jahren erfolgten Einführung der Silikatzemente in die zahnärztliche Praxis setzen die Untersuchungen ein, welche sich mit den Mängeln dieser Fabrikate beschäftigen.

Als erster ist es Kulka, welcher Laboratoriumsversuche mit Ascher's künstlichem Zahnschmelz anstellt, nachdem es seitens der Praktiker zu Klagen darüber gekommen ist, daß dieses anfänglich so ideal erscheinende Füllungsmaterial sowohl in seiner Volumen- als auch in seiner Farbbeständigkeit nicht den Ansprüchen genügt, die an ein solches gestellt werden müssen. Außerdem ist beobachtet worden, daß es ohne erkennbare Ursache unter diesen Füllungen oftmals zum Pulpentod kommt. Trotz makroskopisch einwandfreier Entfernung des kariösen Dentins und der üblichen Desinfektion der Kavität kommt es nach kurzer Zeit zur Nekrose, oft auch zur Gangrän der Pulpa. Da diese Erscheinungen weitgehend mit den Vorgängen, wie sie sich bei der Arsennekrose abspielen, übereinstimmen, nahm man Verunreinigungen des Ausgangsmaterials der Silikatzemente durch Arsen an. Tatsächlich bestätigen die ersten Untersuchungen Kulkas diese Annahme, jedoch bleiben die Läsionen der Pulpa noch weiterhin bestehen, obgleich man bei der Herstellung der Zemente von den verunreinigten natürlichen Bodenprodukten Abstand genommen hat und zur synthetischen Produktion übergegangen ist.

Proell vertritt die Ansicht, die schädigende Ursache nun nicht mehr in der Zusammensetzung zu suchen, sondern macht lediglich die mangelhafte Volumenbeständigkeit verantwortlich, die es ermöglicht, daß eine bakterielle Invasion in den Raum zwischen Füllung und Kavitätenwand stattfindet und so eine Schädigung der Pulpa herbeiführt. Osmotischen Reizen, wie Wasserentziehung oder Quellung, sowie toxischen Einflüssen ist die Pulpa durch eine derartige, wenn auch mikroskopische Spaltbildung ausgesetzt.

Dem hält Rawitzer entgegen, daß auch Phosphatzemente sich kontrahieren, ohne daß Pulpennekrosen unter derartigen Füllungen im gleichen Maße wie bei Silikatfüllungen beobachtet worden seien. Dieser Ansicht schließen sich auch Greve und Fränkel an, die auf die häufig zu beobachtende Kontraktion von Amalgamfüllungen hinweisen, wo es lediglich zu Kariesbildung kommt und nicht zur Pulpennekrose innerhalb kurzer Zeit. Rawitzer glaubt vielmehr, daß das von ihm im Silikatzement nachgewiesene Beryllium die Pulpenirritation hervor-

ruft. Darüber von Richter angestellte Versuche am Lebenden verneinen dies jedoch. Er kann keinen schädigenden Einfluß des Berylliums feststellen.

Durch Masur wird zum ersten Male die Aufmerksamkeit auf die Möglichkeit einer Schädigung der Pulpa durch die beim Abbindungsvorgang überschüssige Phosphorsäure gelenkt, die einen Bestandteil der Silikatzementflüssigkeit darstellt. Er verwendet darum schon frühzeitig Unterfüllungen aus Phosphatzement, der seit langem als indifferent bekannt ist, und findet so keine Zerstörung des Pulpengewebes mehr.

Ueber die Zusammensetzung von Silikatzementpulver und -flüssigkeit werden von mehreren Autoren Untersuchungen vorgenommen mit teilweise abweichenden Ergebnissen, je nachdem, um welches Fabrikat es sich handelt.

So findet Isobree Moens im Pulver des Ascherzements 50% Kaolin, 25% Kieselsäure, 15% Kalk, 2% Magnesium und etwas Wasser. Die Flüssigkeit besteht nach seiner Meinung aus einem Gemisch von Ortho-, Pyro- und Metaphosphorsäure. Bruck findet im Pulver von Silikatzementen Kieselsäure, Oxyde, Aluminium, Kalium, Spuren von Eisen und Magnesium, in der Flüssigkeit Orthophosphorsäure, Aluminium und Natrium. Apfelstaedt findet als Pulver Tonerde, Kieselerde und Kalk, in der Flüssigkeit Ortho- und Metaphosphorsäure sowie Tonerde. Hattyasy stellt im Pulver Kieselsäureester von Kalzium-, Magnesium-, Aluminium- und Berylliumoxyden fest und bezeichnet die Flüssigkeit der von ihm untersuchten Zemente als wässerige Lösung von Phosphorsäure und sauren Phosphaten. Er glaubt, daß die Phosphorsäure die Kieselsäure des gelösten Pulvers spaltet. Kieselsäure und Phosphate fallen aus und verkleben die ungelösten Pulverkörnchen. Die so verkittete Substanz besteht dann aus amorpher Kieselsäure. Zu diesen Feststellungen sagt Wannenmacher, daß das Silikatzement wohl eher ein Achat ist, in den Silikate und Phosphate eingestreut sind, als ein Porzellan, als welches es gemeinhin bezeichnet wird.

Nach Balters ist die Bindung der Säure bei Silikatzementen erschwert, da die Säure nicht mit freien Basen, wie zum Beispiel bei den Oxyphosphatzementen, sondern mit komplexen Salzen zusammengebracht wird, die erst gespalten werden müssen; daraus folgt, daß die Reaktion langsam vor sich geht und leicht freie Phosphorsäure zurückbleibt.

Neben der Phosphorsäure bezeichnet Masur auch die sauren Phosphate als Faktoren der Noxe. Lesieur weist auf die beträchtlichen Mengen von Fluor hin, die er in transluziden Zementen findet und als Ursache der Bildung von pulpenschädigender Fluorwasserstoffsäure ansieht. Haas schreibt der phosphorigen Säure, die bei Anwesenheit von Chloriden im

Zementpulver auftritt, eine gleiche Wirkung auf die Pulpa zu, wie dem Arsen. Abraham findet in der Zementflüssigkeit Aluminium und Zinkchloride, bekanntlich starke Aetzmittel, nach deren Ausschaltung er keine spezifischen Schädigungen der Pulpa mehr auftreten sieht.

Daß tatsächlich eine Säureabgabe während des Abbindevorgangs der Silikatzemente stattfindet, wird von Dieck, Lüthy, sowie einer ganzen Anzahl anderer Autoren durch Untersuchungen nachgewiesen. Dabei wird festgestellt, daß der Säureüberschuß auch noch zwanzig Stunden nach vollzogener Erhärtung vorhanden ist. Rohrer führt aus, daß diese Abgabe freier Säure in den ersten Stunden nach dem Anrühren am intensivsten ist und fordert möglichst große Mengen von Zementpulver bei der Mischung, um so die Abbindungsdauer und damit die Schädigungsintensität herabzudrücken. Eine Hydratisation des Silikats in der Mundhöhle und die damit verbundene Möglichkeit, daß der auslaugende Speichel die schädigende Komponente aufheben würde, sieht er nicht als erheblich an, da dieser Vorgang sich nur an der nach außen gekehrten Füllungsfläche abspielen kann.

Die von ihm erhobene Forderung nach stärker dosiertem Zementpulver wird von Wannenmacher abgelehnt, dessen umfangreiche Untersuchungen auf diesem Gebiet ergeben, daß für fast alle Silikatzemente das gleiche Mischverhältnis besteht, das ein normales Abbinden, minimale Kontraktion sowie geringste Säureabgabe gewährleistet. Es ist dies ein Tropfen Flüssigkeit auf 0,1 g Pulver. Ein Tropfen = 0,03 ccm, 34 Tropfen = 1 ccm. Erhöhte Säureabgabe findet statt bei zu dünner und zu dicker Konsistenz. Bei der letzteren ist eine richtige Durchmischung nicht möglich, sodaß die Abbindung nicht gleichmäßig erfolgt. Sehr ungünstig wirkt es sich aus, wenn noch nachträglich zu der schon sich erhärtenden Zementmasse Flüssigkeit oder Pulver beigemengt wird. Als Anrührzeit wird von Dieck $1^1/_2$ bis 2 Minuten gefordert.

Die von Dieck gewonnenen Aufschlüsse über die überschüssige Säure glaubt Rebel durch das Ergebnis seiner Versuche widerlegen zu können. Er pulverisiert erhärtetes Zement und schwemmt es 24 Stunden in Aqua destillata auf. Nach Abfiltrieren des Pulvers titriert er das Filtrat und neutralisiert es unter Zusatz von Phenolphtalein mit Barytwasser. Er findet keine nennenswerte Säureabgabe. Da das erhärtete Zement pulverisiert ist, ergeben die Versuche Höchstwerte, wie sie bei Füllungen nicht vorkommen, da hier nur die der Dentinwand zugekehrten Randschichten der Füllung für Abgabe freier Säure in Frage kommen. Außerdem gibt Rebel zu bedenken, daß die entkalkende Wirkung der Phosphorsäure zu berücksichtigen ist, sodaß durch die Reaktion mit dem Kalk ein Teil der Säuremenge gebunden ist. Ein weiterer

Teil tritt mit dem Odontoblastenfortsätzen in Kontakt, sodaß durch Bildung eines unlöslichen Azidalbuminats seine schädigende Wirkung auf die Pulpa fortfällt.

Nach Dietrich beruht bei lebendem Gewebe die Noxe der Säure auf Wasserentzug aus den Gefäßen und Zellen, wodurch Flüssigkeitsaustritt, Behinderung der Strömung und Bluteindickung zur Stase führt, die bei längerem Anhalten Nekrose der betreffenden Gewebsgebiete im Gefolge hat

Parallel zu dieser Ansicht gehen die Ueberlegungen von Gerb. Er sucht in der Wasserentziehung die ausschlaggebende Ursache und sieht das Problem der Silikatzemente auf dem Gebiet der Theorie der Lösungen, was er in ungefähr folgenden Gedankengängen zum Ausdruck bringt: Der Inhalt der Dentinkanälchen besteht aus einer kolloidalen Lösung von Eiweißkörpern, die außerdem Salze molekular gelöst enthält. Das Zementgemisch ist ebenfalls eine wässerige Lösung, in der Kieselsäure kolloidal und Phosphate molekular vorhanden sind. Nun diffundieren molekulare Lösungen sehr rasch, kolloidale dagegen erheblich langsamer. Die Ursache für die Diffusion ist die verschiedenartige Konzentration, die bei dem Dentinkanälcheninhalt nicht ganz mit 1% bewertet werden kann, während man die Konzentration des Zementgemisches mit 5% annehmen darf, sodaß ein, osmotisch betrachtet, starker Konzentrationsunterschied besteht. Der Ausgleich findet nun sehr heftig statt. Das Ergebnis ist eine stärkere Konzentration des Dentinkanälcheninhalts, der jetzt dem Inhalt der übrigen Zellen gegenüber hypertonisch geworden ist. Der osmotische Ausgleich erfolgt durch plötzliche Entquellung und Schrumpfung der Pulpazellen, was zu irreparablen Gewebsschädigungen führt. Der Wasserentzug bringt die Pulpazellen zur Nekrose. Dieser Vorgang ist für ein richtig dosiertes Zementgemisch in Anwendung zu bringen. Um wieviel gefährlicher wird es aber, wenn ein größerer freier Säureüberschuß vorhanden ist, der das Konzentrationsverhältnis derart ungünstig beeinflußt, daß infolge des noch weiter erhöhten Konzentrationsunterschiedes der Ausgleich noch spontaner erfolgt und der Wasserentzug mit verstärkter Gewalt vor sich geht. Außerdem erstreckt sich dann dieser Vorgang über eine weit größere Zeitspanne als gewöhnlich, da nach erfolgter Abbindung des Zements die überschüssige Säure mit ihrer unverändert hohen Konzentration (40—60% bezogen auf reine Säure) im stärksten Maße hypertonisch wirkt.

Einen anderen Weg beschreitet Eberly, der die Pulpenreizung auf elektrolytische Vorgänge glaubt zurückführen zu können. Durch seine Untersuchungen stellt er beim Silikatzement Erscheinungen fest, die sich bei anderen Zementen nicht zeigen. So die Erzeugung galvanischer Ströme

zwischen zwei Silikatfüllungen, weiter elektrolytische Auflösung von Silikatzementen an den Rändern (Rand-, sowie Allgemeinverfärbungen) und als wichtigstes Pulpareizung auf elektrolytischer Grundlage. Die Randschwäche der Füllungen glaubt Eberly dadurch erklären zu können, daß das Silikat im plastischen Zustand eine Mischung von Gel- und Kristallbildung darstellt. Ueberbearbeitung während des Füllens bringt zuviel Gel an die Oberfläche und an die Ränder, wodurch diese schwach werden. Die Bereitschaft zur Elektrolyse macht es erforderlich, daß die dielektrischen Eigenschaften der Materialien vermehrt werden müssen und das abgebundene Zement chemisch passiver wird. Nur so ist nach Eberly an eine Verbesserung der Silikatzemente zu denken. Weiße Vaseline bildet hier die Möglichkeit, als plastisches Dielektrikum in den Mischungsprozeß hineingebracht zu werden und zwar nach Gewicht 5%. Eine danach vorgenommene elektrische Prüfung ergab eine 75%ige Annäherung an die Eigenschaften der Oxyphosphatzemente.

Weitere Versuche von Eberly, in denen er auf den Säureüberschuß eingeht, veranlassen ihn zu neuen Vorschlägen. Er sucht ein Material, durch das die Anfangsreaktion beim Abbindungsvorgang nicht gestört wird, sondern das erst eine sekundäre Beeinflussung ausübt, um die überschüssige Säure zu neutralisieren. Dies findet er in der Seife. Er stellt Zementpulver mit einem 3%igen Gehalt an Hopkins Raja Seifenpulver her. Eine Reaktion zwischen Seife und Zementflüssigkeit findet nicht statt, es werden beim Mischen Wassermoleküle frei, welche die Seife lösen und eine Sekundärreaktion erzeugen, wodurch das Alkali die freie Säure neutralisiert. Die dadurch entstehenden Dielektrika sind nun in der Masse verteilt und verhindern elektrolytische Vorgänge.

Cattalero und Wannenmacher führen neben Schädigungen, die vom verwendeten Material ausgehen, noch andere Gesichtspunkte an, die zu berücksichtigen sind. Zuerst ist es die große Pulpennähe, in der oft bei den grazil gebauten Frontzähnen die Füllungen gelegt werden. Besonders gilt dies bei Jugendlichen mit noch weitem Lumen. Weiter ist es Tatsache, daß makroskopisch garnicht zu entscheiden ist, ob das Dentin wirklich kariesfrei ist. Oft sind einwandfrei erscheinende Dentinkanälchen schon mit Erregern angefüllt, deren toxische Einflüsse später unter der abschließenden Füllung zur vollen Wirkung auf die Pulpa kommen. Wenn dazu die nicht abzustreitende Noxe durch das Zement selbst berücksichtigt wird, so kann wohl eine Kombination beider Faktoren in Betracht gezogen werden. Als drittes Moment erwähnen Cattalero und Fischer infolge einer Fehldiagnose übersehene Pulpitiden. Außerdem sind noch Läsionen der Pulpa zu berücksichtigen, die durch Kavitätenpräparation in großer Pulpennähe rein mechanisch

verursacht werden oder durch ein vom Behandler nicht bemerktes Anschlagen eines Pulpenhorns.

Um nun die schädigende Wirkung, soweit sie auf die Silikatzemente zurückzuführen sind, von der Pulpa fernzuhalten, sucht man nach anderen Mitteln, um diese kosmetisch so ansprechenden Zemente weiterhin verarbeiten zu können. Die Wege, die hier beschritten werden, sind in drei Gruppen zu ordnen, Unterfüllungen, Lackstoffe und basische Verbindungen, welche den Säureüberschuß neutralisieren sollen.

Sachs spricht sich für Fletscher-Eugenol oder Guttapercha als Unterfüllung aus, während Bruck und Heß Phosphatzement wählen, jeweils mit einem Zusatz von Eugenol oder Jodoform. Auf die reizlose Anwendung von Phosphatzement auch in Pulpennähe weist Andresen hin, der durch rein chemische Ueberlegungen, auf die noch an anderer Stelle genauer einzugehen ist, den grundlegenden Unterschied zwischen Zinkphosphatzement und Silikatzement darlegt. Feiler nimmt Goldfolie als Zwischenschicht, Geyer Thymozin, eine Paste, welche aus Thymol und Zinkoxyd besteht.

Diese Unterfüllungen sind jedoch nur anzuwenden, wenn die Kavität eine gewisse Tiefe besitzt und nicht allzu flach ist, da sonst durch die isolierende Zwischenschicht wertvoller Raum verloren geht, der für die Retension der Füllung notwendig ist. Darum schlägt eine Anzahl von Autoren vor, eine dünne Lackschicht zu unterlegen, und es fehlt auch hier nicht an mannigfachen Präparaten.

Derartige Lacke erfreuen sich wegen ihrer angenehmen Anwendungsmöglichkeit bei den Praktikern großer Beliebtheit, jedoch ist bei ihrem Gebrauch rein technisch einiges zu beachten. Neben der Tatsache, daß sie im Falle flacher Kavitäten die schlechte Klebekraft des Silikatzementes noch um weiteres vermehren, werden kleine Kavitäten nur allzu oft mit Lack überschwemmt, der beim nachfolgenden Austrocknen vor Legen der Füllung am Rande der Kavität haften bleibt und später nach Auslaugung einen mikroskopischen Spalt bildet, welcher Erregern Einlaß gewährt.

Palazzi und Wustrow setzen sich sehr für die Jakobsohn'sche Unterfüllung ein, die eigentlich besser mit Unterpinselung bezeichnet wird. Sie besteht aus einer Lösung, die aufgetragen eine Haut ergibt, die gegen Säuren und Alkalien undurchlässig sein soll und einer zweiten Lösung, welche organische Metallsalze enthält, die, mit Phosphorsäure zusammengebracht, ein phosphorsaures Salz ergeben, sodaß also die Möglichkeit besteht, freie Phosphorsäure zu binden. So berichtet Wustrow über sie.

Gierkes Untersuchungen darüber haben jedoch das Ergebnis, daß diese Jakobsohn'sche Unterfüllung für alle Säuren, Alkalien und Salze durchlässig ist.

Gebert stellt fest, daß Degussalack, Mastix und Zaponlack als undurchlässig für Phosphorsäure anzusehen sind, wogegen sich jedoch Linka wendet. Er verwirft Lacke als Pulpenschutz und sieht als einzige Möglichkeit zur Verhinderung des Einwirkens der freien Säure den Gebrauch einer konzentrierten wässerigen Kalziumlösung an, die er Adhaesin nennt. Sie wird zum Anfeuchten der Kavitätenwände vor dem Abfüllen benutzt und verbindet sich mit der überschüssigen Phosphorsäure zu reizlosem Kalziumphosphat. Die sich hierbei bildenden Kristalle sollen gleichzeitig die Füllung in den Dentinkanälchen fixieren. Heß wendet Pulpacol an, eine Lösung von Harzen mit Thymol, kolloidalem Silber und basischem phosphorsaurem Kalzium; dieses ist abspaltbar, um die Phosphorsäure unwirksam zu machen. Das kolloidale Silber regt durch seine oligodynamische Wirkung außerdem zur Bildung von Reizdentin an. Hansemann empfiehlt Contranox, bei dem Selbstverkieselung eintreten soll und nicht wie bei Schröder's Tiranal Verkieselung des Dentins. Es ist zusammengesetzt aus Zinkoxyd, Silberpulver, Kalziumoxyd und Kalziumkarbonat. Aus einer Natriumsilikatlösung kommt es zur Ausfällung von unlöslicher Kieselsäure. Auch hier wieder die oligodynamische Wirkung des Silbers.

Dufongere wendet ein Gemisch von Zinkoxyd und Zinksulfat an, das die Säure zur Bildung unschädlicher Oxyphosphate veranlassen soll.

Tuchler geht auf die Untersuchungen von Lehner und Gins ein, welche die Unschädlichkeit von Schröder's Tiranal für die Pulpa erweisen wollen, und glaubt, in der durch Tiranal verkieselten Dentinschicht durch Einfluß der Phosphorsäure eine Spaltung des Tiranals annehmen zu können, was die Bildung einer undurchlässigen Kieselsäurezwischenschicht zur Folge hat. Inwieweit Tiranal als völlig unschädlich für die Pulpa zu gelten hat, ist allerdings noch fraglich.

Als „Lösung der Silikatfrage" bringt Wiesner ein Präparat mit dem Namen „Durosim" heraus, das durch Beimengung beim Anrühren infolge seines basischen Charakters die freie Phosphorsäure neutralisieren soll. Außerdem will Wiesner damit die nachträgliche Kontraktion der Füllungen verhindern und so eine bakterielle Einwanderung am Kavitätenrand unmöglich machen. Untersuchungen im Laboratorium, die von Brenner und Schoenbeck mit Durosim angestellt wurden, haben hier gute Erfolge gezeigt. Ueber klinische Erfahrungen mit Durosim ist bisher nichts bekannt.

Wie mannigfach nun auch die Methoden sind, welche direkt oder indirekt dem Silikatzement die pulpaschädigende Wirkung nehmen wollen, so ist doch bislang keine restlos befriedigende Lösung gefunden worden, was Feiler veranlaßt zu fordern, keinen vitalen Zahn mit Silikatzement zu füllen, solange nicht dessen völlige Unschädlichkeit wissenschaftlich nachgewiesen ist. Noch in allerjüngster Zeit betont Schoenbeck ausdrücklich, daß die Frage der Unschädlichkeit der Silikatzemente für die Pulpa erst dann gelöst ist, wenn die Phosphorsäure nicht mehr zum Aufbau eines Silikatzements verwendet zu werden braucht.

Ueber die Frage, warum die Phosphorsäure nun gerade in der Silikatzementfüllung und nicht in der Zinkphosphatzementfüllung mit so schwerwiegenden Folgen in Erscheinung tritt, gibt Andresen Aufschluß. Von den drei Phosphorsäuren, der Ortho-, Pyro- und Metaphosphörsäure bezeichnet er die erstere als die wichtigste für die Herstellung zahnärztlicher Zemente. Sie besitzt drei Gruppen OH, deren einzelne H-Atome durch Metalle ersetzt werden können, wodurch die Salze der Phosphorsäure entstehen. Wenn alle H-Atome der Reihe nach durch Metalle ersetzt werden, erhalten wir drei Gruppen von Salzen, primäre, sekundäre und tertiäre. In Frage für den Ersatz der H-Atome kommen hier Natrium, Kalzium, Zink und Aluminium, von deren primären Salzen man verhältnismäßig konzentrierte wässerige Lösungen herstellen kann, die sauer reagieren und zwar mit zunehmender Azidität in vorgenannter Reihenfolge. Eine höchst konzentrierte Lösung des primären Zinkphosphat ist nun ein Hauptbestandteil der Flüssigkeit des Zinkphosphatzements, während das primäre Aluminiumphosphat den Hauptbestandteil der Flüssigkeit der meisten Silikatzemente darstellt, wobei zu bemerken ist, daß dieses wie oben erwähnt, als saurer angesehen werden muß. Aber noch aus einem zweiten Grunde ist die Flüssigkeit der Silikatzemente saurer als die der Phosphatzemente. Infolge eines höheren Wassergehalts ist sie verdünnter und da auf Grund der elektrolytischen Dissoziation die Aufspaltung einer Verbindung in ihre Ionen mit zunehmender Verdünnung steigt, ist sie stärker ionisiert als die konzentrierte Flüssigkeit des Phosphatzements und hat darum eine stärkere Azidität.

Aber noch weitere Umstände tragen dazu bei, einen wesentlichen Unterschied beider Flüssigkeiten zu bilden. Das primäre Zinkphosphat kann in hochkonzentrierter Lösung hergestellt werden, ohne daß sich das gelöste Salz abscheidet. Beim Aluminiumphosphat dagegen, wo eine Lösung von Phosphorsäure in Wasser mit Aluminiumhydrat neutralisiert wird, scheidet sich nach der Neutralisation bis zum primären Salz bei längerem Stehen ein Teil des gelösten Salzes ab. Diesem Umstand wird dadurch begegnet, daß nicht alle Phosphorsäure neutralisiert wird und

dann ist eben freie Säure in der Flüssigkeit vorhanden, wodurch diese klar bleibt. Dies bleibt sie allerdings auch, wenn der Rest der freien Phosphorsäure durch Zinkoxyd neutralisiert wird, aber dadurch leidet wieder die notwendige Schwerlöslichkeit der Silikatzemente in den Mundsäuren. Zu diesem dritten Faktor in der starken Azidität der Silikatzement-Flüssigkeit kommt noch hinzu, daß im Gegensatz zum Pulver des Zinkphosphatzements, das als durchaus basisch anzusehen ist, die Pulver der Silikatzemente meist neutral sind, daß also der saure Charakter der Flüssigkeit durch das basische Pulver beim Zinkphosphatzement genommen wird und eine neutrale Füllung entsteht, während beim Silikatzement durch das schon neutrale Pulver nach der Mischung mit der sauren Flüssigkeit eine azide Füllung gelegt wird.

Ueber die Art der Veränderungen der Pulpa unter dem Einfluß der Silikatzemente geben die experimentellen Untersuchungen von Fasoli, Palazzi, Rebel, Wustrow, Hellner sowie Hattyasi Aufschluß. Die Ergebnisse und die aus ihnen gezogenen Folgerungen sind teilweise voneinander abweichend.

Rebel bestreitet auf Grund seiner Versuche, daß die Silikatzemente spezifische Schädigungen setzen. Er legt bei einer Katze 5 Wochen lang in gleich große und tiefe Kavitäten Guttapercha, Amalgam, Silikatzement und Zementflüssigkeit. Im Vergleich zum Kontrollzahn ergeben sich folgende charakteristische histologische Unterschiede. Unter der Guttaperchafüllung ist eine deutliche diffuse Anreicherung von Pulpazellen festzustellen. Ein etwas weiter fortgeschrittenes Stadium zeigt sich unter der Amalgamfüllung. Die diffuse Zellvermehrung ist noch ausgesprochener, dazu tritt leichte, vereinzelt bemerbare Vakuolisierung der Odontoblasten, vielleicht ganz geringe seröse Durchtränkung. Eine weitere Steigerung findet sich in der Pulpa, die unter Zement gelegen hat. Zur starken Anreicherung mit Zellen tritt eine deutliche Gefäßerweiterung, kapillare Blutung ganz geringen Grades und vereinzelt stärker ausgedehnte Vakuolisierung der Odontoblastenschicht, beginnende seröse Durchtränkung. Diese wird unter der Zementflüssigkeit beherrschend, vermehrte Hämorrhagien, vermehrte Vakuolisierung, Abnehmen der Pulpazellen, Auftreten diffuser Faserbildung, sehr starke zentrale Gefäßerweiterung. Die Ergebnisse werden in zahlreichen Versuchen gleichmäßig erzielt. Rebel folgert daraus: Auf jede Füllung, je nach ihren chemischen oder physikalischen Eigenschaften, reagiert die Pulpa in einer entsprechenden Weise. Dazu braucht durchaus nicht der Pulpenraum eröffnet zu sein, sondern es genügt schon ein Durchschneiden der Odontoblastenausläufer, das heißt, eine Verletzung des Zahnbeins.

Wustrow betont in seiner Arbeit, daß es unbedingt notwendig sei, exakte Untersuchungen in vivo vorzunehmen und lehnt die zahlreichen Laboratoriumsversuche über die Chemie der Silikatzemente ab. Er legt bei Patienten für die Dauer von 14 Tagen Silikatfüllungen und findet bei der histologischen Untersuchung normale Nerven und Gefäße, dagegen zeigt das Bindegewebe eine netzartige Struktur, in die Kalkherde eingestreut sind. Die in die Herde einmündenden Bindegewebsfasern sind kolbig aufgequollen. In einigen Fällen zeigen auch die Nerven das Bild langsamer fettiger Degeneration. Rebel lehnt diese Ergebnisse ab und sieht darin Anzeichen primärer Atrophie, die nicht durch die Behandlung entstanden ist, sondern der auch, wie Fischer ausführt, junge intakte Zähne unterworfen sein können. Insbesondere in Bezug auf die Kalkherde glaubt er, daß Wustrow hier einer Täuschung zum Opfer gefallen ist.

Besondere Beachtung erfordern die eingehenden Versuche, welche Fasoli mehrere Jahre hindurch an Hunden durchführt, nachdem er zu der Ueberzeugung gekommen ist, daß die Sensibilität der Zahnpulpa des Hundes ähnlich der menschlicher Zähne sein muß. Er füllt tiefe und pulpennahe Kavitäten mit Zinkphosphatzement, was keine Beeinflussung oder gar Schädigung hervorruft, dagegen tritt bei tiefen Kavitäten mit Silikatzement nach 30—40 Tagen retikuläre Degeneration, hyaline Degeneration und definitive Nekrose der Pulpa ein. Weniger tiefe aber relativ pulpennahe Silikatfüllungen produzieren Degeneration des Gefäßsystems und zwar hämorrhagische Infarkte, Diapedesis, lokale Zirkulationsstörungen mit Bildung seröser Räume in den zentralen Partien der Pulpa, starke Reaktion der Odontoblasten mit abnormer Produktion von Reizdentin. Bemerkenswert ist hier die Hyperplasie der Kapillaren im Innern des Odontoblastenlagers, die nicht nur gegen die Kavität, sondern in der ganzen Pulpaperipherie auftritt.

Fasoli hat nach seinen Befunden nicht den Eindruck, daß es sich bei den Schädigungen durch Silikatzemente um echte Pulpitiden handelt. Aus der Analogie des Absterbens der Pulpa unter Silikatzementen mit der Arsennekrose schließt er, daß in erster Linie das Nervensystem beteiligt ist. Den Hauptfaktor glaubt er nicht in der freien Pposphorsäure sehen zu müssen, sondern in einem sauren Salz. Zum Schutz der Pulpa fordert er eine Unterfüllung mit Zinkphosphatzement. An anderer Stelle spricht er sich für die Verwendung von Tiranal aus, von dem er annimmt, daß es gleichfalls die Möglichkeit des Pulpenschutzes bietet.

Palazzi zieht ebenfalls Hunde zu seinen Versuchen heran. Er wählt 18 kräftige Tiere im Alter von 1—6 Jahren, bei denen er Kavitäten mit Silikatzementen anlegt. Als Folge sieht er starke Hyperämie, prall

gefüllte Arterien und meist leere Venen. Gegen die Kavität zu zeigt sich das Bild einer akuten partiellen Pulpitis. Es besteht starke Infiltration weißer Blutkörperchen bis in die Zone des Sekundärdentins hinein sowie Auftreten von hämorrhagischen Herden. Auch die der Silikatfüllung nicht unmittelbar benachbarten Teile der Pulpa befinden sich im Zustand akuter Entzündung, wie die starke Hyperämie und Leukozyteninfiltration zeigt. Ebenfalls hier kleine herdförmige Hämorrhagien. An einigen Zähnen findet er hyalino-kolloidale Degeneration der ganzen Pulpa. Das Gewebe ist durchsetzt von albuminösen Oedem, die Randgefäße sind komprimiert, sodaß sie ovale Form annehmen, die Odontoblasten einem Umwandlungsprozeß unterworfen. Er sieht weiter schwer geschädigte Pulpen im Zustande der fibrösen Degeneration und Atrophie. Der bindegewebige Teil ist degeneriert und atrophiert, Gefäße, Odontoblasten und eigene Zellen sind fast verschwunden, in einigen Fällen von Gruppen fibröser Bündel ersetzt. In der Grundsubstanz sind große Lücken zu sehen, die auf den praefinalen Zustand eines Oedems hinweisen, das, eingeschlossen zwischen die Wände des Pulpenraums, die den Expansionskräften des Exudats widerstehen, die Zellelemente zerstört hat.

Palazzi glaubt, daß der Beginn dieser Veränderungen im Zentrum der Pulpa zu suchen ist, weil dort eine größere Anzahl von Gefäßen vorhanden ist und der Prozeß von dort gegen das Stratum basale und das Odontoblastenlager fortschreitet. Die von Wustrow beschriebenen Verkalkungsherde findet er nicht, außerdem keine Mikroorganismen. Er kommt daher zu dem Schluß, daß Silikatzemente eine aseptische Nekrobiose hervorrufen, wie auch die klinischen Erscheinungen bestätigen. Bei Pulpengangrän handelt es sich stets um eine septische Komplikation.

Andere Versuchszähne weisen bei Palazzi in der Pulpazone entlang der Kavität einen starken Kapillarreichtum auf, der sich zwischen Pulpazentrum und Odontoblastenschicht ausdehnt und sich auch noch auf das Odontoblastenlager erstreckt, also ein Zeichen einer markierten Angiotaxis gegen die Silikatfüllung. Auch hyalinokolloide Degeneration ohne Gefäßneubildung findet Palazzi. Einige Gefäße in Nähe der Kavität zeigen Stase, andere Thrombose. Das ausgetretene Serum bildet große Höhlen und verdrängt das Bindegewebe. Die Thrombosierung verhindert die Resorption des Transsudats. Im Zentrum der Pulpa tritt retikuläre Atrophie und Endarteritis obliterans auf.

Aus diesen Ergebnissen zieht Palazzi dann seine Schlußfolgerungen. Die Reizung durch das Silikatzement bewirkt in der Pulpa zunächst Hyperämie und Ektasie der Gefäße, darauf Hyperproduktion von Kapillaren. Im weiteren Verlauf folgen Thrombose, Diapedese und hyaline

Degeneration. Serumaustritt und fehlende Resorption verursachen Oedem, worauf es zur retikulären Atrophie und fibrösen Degeneration kommt, weil durch die Kompression der gesamte Pulpeninhalt zu Grunde geht. Bei Bakterienzufuhr kommt es zur Gangrän.

Im Gegensatz zu Fasoli findet Palazzi bei keiner der von ihm untersuchten Pulpen die Bildung von Reizdentin. Dieses kann nach seiner Ansicht nur bei unverletztem Odontoblastenlager gebildet werden, da aber die durch das Silikatzement hervorgerufene Reaktion sich, wie die Untersuchungen ergeben, auch auf dieses erstreckt, ist das Fehlen von Sekundärdentinbildung erklärlich.

Hattyasi legt ebenfalls Tierexperimente an, um die Wirkung von Amalgam-, Zinkphospatzement- und Aluminiumphosphatzementfüllungen zu untersuchen. Als Resultat findet er, daß Amalgamfüllungen auf die Odontoblasten als Reiz einwirken und es zur Bildung von neuem Dentin kommt. Die Pulpa bleibt vital, im Periapikalraum finden sich seröse Durchtränkung sowie Plasmazellen vor. Unter Pposphatzement und Silikatfüllungen ist die Pulpa, hauptsächlich in tiefen Kavitäten, abgestorben. Die Odontoblasten produzieren kein neues Dentin, sie verlieren ihren Charakter oder atrophieren retikulär. Die Pulpa ist hyperämisch, interstitiale Blutungen, Plasmazellen und Lymphozyten treten auf. Der chronische Verlauf ist charakteristisch.

Hellner kommt in seiner Arbeit zu dem Schluß, daß die von Fasoli und Palazzi beim Hunde gefundenen, durch Silikatzemente verursachten Veränderungen in der Pulpa in der Hauptsache auch beim Menschen zutreffen. Seine histologischen Untersuchungen zeigen die Bilder der Hyperämie, kappillaren Hyperproduktion, und Angiektasie. Durch den vergrößerten Gefäß- und Gewebsdruck entsteht langsam eine allgemeine Zirkulationsstörung mit Stauung und Stase. Es kommt zu Diapedeseblutungen und zur hyalinen Thrombose. Zellinfiltrationen, bestehend aus Plasmazellen und Fibroblasten werden festgestellt. Verdrängung oder Untergang der Odontoblasten tritt als Folge der kapillaren Hyperproduktion und Angiektasie auf und zwar am stärksten in dem der Kavität zugekehrten Teil des Pulpagewebes. Das Entstehen nekrotischer und nekrobiotischer Gebiete erstreckt sich sowohl auf die endo-, als auch auf die exoplasmatische Substanz. Mikroorganismen können in keinem Fall nachgewiesen werden.

Einen weiteren experimentellen Beitrag zur Silikatforschung bringt Rohrer, indem er die schädigende Wirkung der Silikatzemente auf Plasmazellen prüft. Zu diesem Zweck benutzt er die für die Wassermann'sche Reaktion gebräuchliche 5%ige Hammelblutkörperchenaufschwemmung, der er die zu untersuchenden Mengen Silikatzement zusetzt und beides

zusammen eine Stunde lang im serologischen Wasserbad unter einer Temperatur von 37 Grad C hält. Schon nach wenigen Minuten zeigt sich ungleichmäßiges Sinken der Erythrozyten, Auftreten von Flockung, Hämolyse, Lackfarbenwerden des Blutes und im äußersten Fall Braunverfärbung des Hämoglobins.

An diesen Vorversuch schließt sich der Hauptversuch an. Ein Teil der mit Silikatzement zusammengebrachten Erythrozyten wird in 0,9%ige Kochsalzlösung gebracht, der andere Teil in destilliertes Wasser. Beides wird wieder im serologischen Bad eine Stunde lang bei 37 Grad C gehalten. Während nun rote Blutkörperchen, die nicht der Wirkung des Silikatzements ausgesetzt worden sind, in der physiologischen Kochsalzlösung keine Veränderungen zeigen und in Aqua destillata komplette Hämolyse geben, tritt letztere bei den durch Silikatzement geschädigten Erythrozyten in der 0,9%igen Kochsalzlösung auf und in destilliertem Wasser zeigen vorbehandelte rote Blutkörperchen unvollständige Hämolyse. Hieraus ist zu schließen, daß durch das Silikatzement das Protoplasma geschädigt ist, sei es nun durch Säure oder durch saure Salze.

Auch mikroskopische Veränderungen nimmt Rohrer an den geschädigten Erythrozyten wahr. Er stellt Entrundung, zackige Ränder und Bestreben zur Agglutination fest, welches auch bei noch in ihrer Form erhaltenen Blutkörperchen im Vordergrund steht. Als Besonderheit erwähnt er eine Erscheinung, die makroskopisch lackfarbenem Blut ähnlich sieht und sich im Vergleichsmikroskop als Absorptionsstreifen des Hämatins in saurer Lösung, zuweilen auch als Absorptionsstreifen des reduzierten Hämatins (Hämochromogen) erweist.

Rohrer zieht aus seinen Versuchen die Schlußfolgerung, daß, wie schon an anderer Stelle erwähnt, ein Optimum an Unschädlichkeit durch möglichst großen Verbrauch von Zementpulver beim Mischungsprozeß erreicht werden muß, wodurch gleichzeitig die Abbindezeit herabgedrückt wird, was wünschenswert ist, da sich die Schädigung in der ersten Zeit nach dem Anrühren am stärksten bemerkbar macht.

Daß die Zugabe von Zementpulver beim Mischungsprozeß begrenzt ist und ein Ueberschreiten dieser Grenze zu Störungen im Abbindevorgang führt, ist bereits oben gesagt. Darum muß die Forderung Rohrers mit Vorsicht behandelt werden. Bei dem von Wannenmacher genannten Mischungsverhältnis von Pulver und Flüssigkeit ist ein Optimum nach jeder Richtung hin, sowohl was Säureabgabe als auch was Abbindungszeit und Kontraktion betrifft, zu erreichen, jedoch läßt sich auch hier eine geringe Menge freier Säure nicht vermeiden.

Gewiß ist dem Silikatzement bei sorgfältiger Verarbeitung viel von seiner schädigenden Wirkung zu nehmen, doch restlos ist sie nicht zu

beseitigen. Da noch nicht einmal die Ursache der Noxe genau festgestellt ist, wie die vielen Theorien darüber bezeugen, ist es wohl kaum möglich, gegenwärtig Abhilfe zu schaffen. Versuche im Reagenzglas und chemische Ueberlegungen führen zu den verschiedensten Ergebnissen, physiologische Gedankengänge und physikalische Untersuchungen geben sehr überzeugende Erklärungen, jedoch eine wirkliche Lösung und die aus ihr resultierende Beseitigung des schädigenden Faktors fehlen bisher.

Daß eine abdichtende Unterfüllung nicht als Verbesserung der Zemente anzusehen ist, gilt als selbstverständlich. Aus diesem Grunde sind auch die Hersteller von Silikatzementen noch immer bemüht, die Fabrikate selbst zu korrigieren. Auf welche Weise dies geschieht, ist natürlich Fabrikgeheimnis. Einige Firmen scheinen jetzt Erfolge zu haben, denn es mehren sich die Silikatzemente, welche ohne Verwendung von Unterfüllungen, Lacken oder sonstigen Zusätzen als völlig unschädlich für die Zahnpulpa bezeichnet werden. Geyer stellt fest, daß es sich hier um eine durchaus leichtsinnige Werbung handelt, solange nicht wissenschaftliche Untersuchungen eine Grundlage für derartige Behauptungen bilden.

Darum ist es notwendig, die Silikatzemente einer exakten Prüfung zu unterziehen. Welche Faktoren im Falle einer schädigenden Wirkung in Frage kommen, braucht vorläufig wegen der auf diesem Gebiet noch bestehenden Unklarheit nicht festgestellt zu werden, es handelt sich lediglich darum, ob die heute verarbeiteten Silikatzemente eine Noxe ausüben oder nicht.

Chemische Analysen, etwa nach Dieck oder Rebel, kommen für diese Untersuchungen nicht in Frage, da eine Ursache auf dieser Grundlage umstritten ist. Ebenso eignen sich nicht Versuche, bei denen in Tierzähne Füllungen gelegt werden. Selbst bei weitgehender Strukturähnlichkeit können menschliches und tierisches Dentin wohl nicht als völlig homogen angesprochen werden. Wenn auch Fasoli, Palazzi, Hattyasi und andere Autoren erfolgreich mit Hunden oder Katzen experimentiert haben, ist bei der heute, gegenüber früher, zweifellos in gewissem Grade bestehenden Verbesserung der Silikatzemente auch nur ein geringer Unterschied in der Substanz unbedingt zu werten.

Dagegen bietet die Froschzunge, welche schon Cohnheim zur Beobachtung von Kreislaufstörungen heranzieht, eine gute Möglichkeit zur Vornahme der Prüfung. Unter das Mikroskop gebracht, zeigt sich ein fein verteiltes Netz von Gefäßen, in denen die einzelnen Blutkörperchen deutlich zu erkennen sind. Für die Untersuchungen der Silikatzemente eignen sich am besten die von dünnen Kapillaren durchzogenen Ränder der Zungenspitzen, von denen zweckmäßig eine für das Experiment heran-

gezogen wird, während die andere zur gleichzeitigen Kontrollbeobachtung dient. Für eine exakte Beobachtung der Vorgänge ist es notwendig, daß die Schleimhaut der Zunge stets eine gleichbleibende Feuchtigkeit besitzt. Außerdem ist bei dieser Versuchsanordnung die Temperatur zu berücksichtigen, da bei zu hohen Temperaturen der Kreislauf des Frosches, wegen seiner Eigenschaft als Kaltblütler, fast völlig daniederliegt, was einen Erfolg der Prüfung in Frage stellen kann.

Durchgeführt wird die Untersuchung nun in der Weise, daß die angerührte Silikatzementmenge auf einer Glasplatte mit der Zungenspitze des Frosches in Kontakt gebracht wird und zwar so, daß die gegenseitige Berührungslinie ungefähr die Länge eines Zentimeters hat. Dadurch wird erreicht, daß die Vorgänge im Gefäßapparat der Zunge während der ganzen Enwirkungsdauer zu verfolgen sind. Weiterhin besteht hier der Vorteil, daß durch diese Anordnung eine Annäherung an die Verhältnisse gewonnen wird, wie sie bei einer Füllung im Zahn gegeben sind, wo ebenfalls nur ein Teil der Zementmenge wirken kann. In der Kavität ist es die dem pulpenwärts gelegenen Dentin zugekehrte Seite, bei dem Froschversuch der der Schleimhaut anliegende Rand. Dadurch werden Höchstwerte vermieden, welche sehr leicht zu fehlerhaften Auslegungen verleiten.

Zur Prüfung gelangen nun 10 Silikatzemente und zwar A.K.Z., Degussa, Diasilik, F. P. 7, Idra, Phoebus, Rexilit; Super-Mamorith; Synthetic, und Zhanelka. Zu Vergleichszwecken werden noch zwei Phosphatzemente herangezogen.

Die Untersuchungen beginnen mit einer Vorversuchsreihe, wobei von jeder Zementflüssigkeit ein Tropfen auf je eine Froschzungenspitze gebracht wird. Der Erfolg ist eine spontane Gefäßerweiterung und Beschleunigung des Blutstromes. Darauf verlangsamt sich die Strömung, die Leukozyten treten aus der axialen Strombahn heraus und sammeln sich an den Gefäßwänden. Innerhalb von fünf Minuten kommt es in dem ganzen von der Flüssigkeit betroffenen Gebiet zur Stauung und nachfolgender Stase. Nach einiger Zeit beginnt die Diapedese der weißen Blutkörperchen in das Gewebe und ebenfalls die der roten Blutkörperchen, letzteres ein Zeichen für die schwere Schädigung der Gefäßwände. Diese Reaktion geht bei Anwendung sowohl der Silikatzement- als auch der Phosphatzementflüssigkeiten in gleicher Weise vor sich.

Die Parallelversuche, bei welchen die verschiedenen Zementpulver mit der Froschzunge in Kontakt gebracht werden, weisen keine Ergebnisse auf. Lediglich in zwei Fällen ruft Phosphatzementpulver eine leichte Hyperämie hervor, vielleicht ein Beweis für die von Andresen aus-

gesprochene alkalische Natur dieser Zementpulver. Bei den Silikatzementpulvern ist jedoch keine Reaktion des Gefäßapparates festzustellen.

Die Grundlage für die Hauptversuche, welche in der Prüfung der Wirkung abbindender Zemente auf die Froschzunge bestehen, bildet das Mischungsverhältnis von Pulver und Flüssigkeit.

Die Erfahrung hat gezeigt, daß der schädigende Faktor im Silikatzement schon beim Anrühren durch richtiges Dosieren und gutes Verarbeiten weitgehend unterbunden werden kann. Aus diesem Grunde geben auch die Hersteller genaue Mischvorschriften für ihre Fabrikate an. Bei der Bemessung von Flüssigkeit und Pulver wird meist das Verhältnis von 1 zu 2—3 gefordert. Die Anrührdauer schwankt zwischen 30 Sekunden und $1^1/_2$ Minuten. Betont wird stets, daß der Mischungsprozeß erst dann als beendet angesehen werden kann, wenn das langsam fester werdende Gemisch beim Ausstreichen auf einer Glasplatte nicht mehr an dieser haften bleibt, sondern sich von den Rändern her aufrollt, bricht und vom Spatel abreißt.

Für die vorzunehmenden Untersuchungen wird das von **Wannenmacher** experimentell herausgefundene Mischungsverhältnis von 100 Milligramm Pulver zu 30 Kubikmillimeter Flüssigkeit angewendet, welches für alle Silikatzemente gleichmäßig gilt, es wird zweckdienlich als Normalmischungsverhältnis bezeichnet. Mengenmäßig kommt es an ein Verhältnis von 1 zu 3 heran. Das Anrühren erfolgt mittels Achatspatels auf einer Glasplatte und zwar in der Weise, daß kleine Pulvermengen in kurzen Abständen unter gleichmäßigem Verreiben der gesamten Flüssigkeitsmenge zugeführt werden, bis das Zementpulver zu dreiviertel verbraucht ist. Der Rest wird in noch geringeren Quanten als vorher der sorgfältig mit dem Spatel gekneteten Zementmasse beigemischt. Die Gesamtanrührzeit beträgt $1^1/_2$ Minuten.

Dieses Verarbeitungsverfahren wird jeder Forderung seitens der Hersteller von Silikatzementen gerecht, sodaß ein derartig vorbehandeltes Fabrikat auch die Eigenschaften besitzen muß, welche ihm zugeschrieben werden, das heißt in diesem Falle, daß keinerlei Noxe von ihm zu erwarten ist. Inwieweit diese Behauptung den Tatsachen entspricht und ob sie gerechtfertigt ist, werden die nachfolgenden Versuchsreihen ergeben.

Zunächst wird nach dem Normalmischungsverhältnis A.K.Z.-Silikat angerührt und unter dem Mikroskop mit einer Froschzunge in Kontakt gebracht. Es dauert nur kurze Zeit und eine Erweiterung der Gefäße mit gleichzeitiger Beschleunigung des Blutstromes wird sichtbar. Die feinen Kapillaren des Zungenrandes, durch die sich bislang nur einzelne Blutkörperchen langsam und träge hindurchzwängten, beginnen, einen un-

unterbrochenen, reibungslos dahinfließenden Strom aufzuweisen. Ebenso zeigen die größeren Gefäße einen entsprechenden stärkeren Grad an Strombeschleunigung. Ueberall herrscht eine starke Blutfülle. Dieser Zustand dauert einige Zeit an, dann machen sich Zeichen einer Verlangsamung bemerkbar. An den Rändern der großen Gefäße und in den Kapillaren beginnen die Blutkörperchen langsamer dahinzurollen. Vereinzelt kommt es zu Aufstauungen, besonders in den feinen Haargefäßen, dabei ist die erweiterte Strombahn überall erhalten geblieben. Auch in den größeren Gefäßen wird die Blutmenge immer träger und bewegt sich nur noch ruckweise vorwärts. Bald kommt es in den Kapillaren zum völligen Stillstand, hier und da pendeln noch einige Blutkörperchen hin und her, um dann auch zur Ruhe zu kommen. Nach einiger Zeit verschwindet auch der letzte Rest von Bewegung in den größeren Gefäßen, sodaß in dem ganzen betroffenen Gebiet Stase eingetreten ist. Ein Blick auf die zu Kontrollzwecken völlig unbeeinflußt gelassene zweite Zungenspitze zeigt, daß dort der normale Kreislauf noch vorhanden ist. Also kann die beobachtete Reaktion der Froschzunge auf eine vom abbindenden Silikatzement ausgehende schädigende Wirkung zurückgeführt werden. Peristatische und prästatische Hyperämie sowie Stase sind die stufenweise Reihenfolge dieses Vorgangs. Dieser Versuch wird mehrmals wiederholt und führt stets zu dem gleichen Ergebnis. Eine Lösung der Stase ist nicht zu beobachten, auch nicht nach Entfernung des Silikatzements. Vielmehr krümmt sich der Zungenrand auf und schrumpft zusammen, es kommt zur Nekrose. Durch die Wirkung des abbindenden Silikatzements ist also eine irreparable Schädigung gesetzt.

Die Untersuchungen der übrigen neun Silikatzemente werden in der gleichen Weise vorgenommen. Das Ergebnis weicht jedoch in keinem Falle von dem des ersten Versuchs ab. Lediglich im zeitlichen Ablauf der Kreislaufreaktion treten ab und zu Schwankungen auf, die aber im Höchstfall 30 Sekunden betragen. Dies ist möglicherweise auf die verschiedene Konstitution der Frösche zurückzuführen, für das Resultat jedenfalls unwesentlich. Als Schlußfolgerung aus der ersten Versuchsreihe ist also die Tatsache zu ziehen, daß bei sonst günstigstem Mischungsverhältnis das in der Abbindung begriffene Zement eine schwere Noxe ausübt.

Bei der zweiten Versuchsreihe wird nun das Mischungsverhältnis geändert. Die Menge des Pulvers wird um 10 Milligramm erhöht, das Flüssigkeitsquantum bleibt das gleiche. Die Abbindungsdauer bei diesem Gemisch ist eine geringere, was für die Verarbeitung als negativer Faktor zu werten ist, da der zu früh eintretende Erhärtungsvorgang durch die notwendige Ueberarbeitung der zu legenden Füllung ungünstig beeinflußt wird. Die Wirkung der in dieser Weise angerührten Silikatzemente auf

die Froschzunge ist ähnlich wie die bei der ersten Versuchsreihe, jedoch mit dem Unterschied, daß der Beginn der Gefäßreaktion etwas später, ungefähr nach zwei Minuten einsetzt. Der weitere Verlauf ist genau der gleiche, am Ende tritt Stase und infolge der weitgehenden Gewebsschädigung Nekrose ein. Die Erklärung dafür ist wohl in der bei einem Pulverüberschuß nicht mehr einwandfrei durchzuführenden Durchmischung zu suchen. Ein Teil der Zementmasse kommt zu schneller Abbindung und Erhärtung, während ein anderer Teil noch garnicht kunstgerecht durchmischt ist, vielleicht sogar noch freie Säure enthält.

Für die dritte Versuchsreihe wird das Normalmischungsverhältnis so abgeändert, daß eine Erhöhung der Flüssigkeitsmenge eintritt. Es kommen 90 Milligramm Pulver und 30 Kubikmillimeter Flüssigkeit zur Anwendung. Das hat zur Folge, daß der Erhärtungsvorgang erheblich verlängert wird und außerdem die Kontraktion wegen der geringeren Substanzmenge gesteigert ist, für die praktische Anwendung zum Füllen von Kavitäten also schon eine Kontraindikation. Die Prüfung dieser Zementmischungen durch Kontakt mit der Froschzunge zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die mit der Normalmischung. Nach einer halben Minute tritt Erweiterung der kleinen und größeren Gefäße ein, mit gleichzeitiger Strombeschleunigung. Die darauf folgende Verlangsamung der Blutströmung bei gleichbleibender Gefäßweite ist jedoch früher zu beobachten, es kommt dann in rascher Abwicklung der weiteren Vorgänge zur Stase. Der ungünstige Einfluß eines zu hohen Flüssigkeitsquantums zeigt sich hier sehr deutlich.

Als vierter Hauptversuch schließt sich die Prüfung der Wirkung abbindenden Phosphatzements auf die Froschzunge an. Das Zement wird nach dem Normalmischungsverhältnis, welches sich auch hier vorteilhaft anwenden läßt, angerührt und mit einer Froschzungenspitze in Berührung gebracht. Eine Reaktion des Gefäßapparates tritt aber nicht ein, weder sofort noch nach Ablauf einer geraumen Zeitspanne. An den Kapillaren sowie an den größeren Gefäßen ist nicht die geringste Veränderung zu bemerken. Nachdem das Phosphatzement eine Stunde mit der Zunge in Kontakt geblieben ist, wird es entfernt. Die feine Schleimhaut der Froschzunge ist gänzlich ohne Läsionen und zeigt keinerlei Veränderungen.

Um eine noch intensivere Wirkung des Phosphatzements auf das Gewebe zu ermöglichen, wird eine andere Untersuchungsmethode angewendet. Hierbei wird das Zement nach dem Anrühren flach auf der Glasplatte ausgestrichen und so auf die Oberfläche der Froschzungenspitzen gelegt. Durch diese Versuchsanordnung wird allerdings eine Beobachtung des Ablaufs der Vorgänge ausgeschaltet, man ersetzt diese,

jedoch dadurch, daß man die angerührte Zementmasse auf mehrere Froschzungen verteilt und zu verschiedenen Zeitpunkten abhebt. So erhält man ein verhältnismäßig gut zusammenhängendes Bild der Reaktion. Nach einer halben Minute ist noch nichts festzustellen, ebenso nicht nach einer, anderthalb und zwei Minuten. Nach zweieinhalb Minuten ist bei einer Zunge in zwei oberflächlichen Kapillaren Stauung zu bemerken. Das gleiche sieht man an einer Zunge nach fünf und an einer weiteren nach acht Minuten Liegezeit des Zements. Nach zehn Minuten ist in manchen Fällen sogar Stase in den Kapillaren festzustellen. Beobachtet man aber diese Vorgänge weiter, so zeigt sich, daß diese Stase sich langsam wieder zu lösen beginnt und sich nach kurzer Zeit ein völlig normaler Kreislauf in den feinen Oberflächengefäßen vollzieht. Es hat sich hier also lediglich um Unterbindungsstasen gehandelt, die infolge des Gewichts des auf der Schleimhaut lastenden Zements aufgetreten sind, eine Gewebsschädigung ist nicht erfolgt.

Die nach der gleichen Methode durchgeführten Versuche mit den Silikatzementen zeigen, wie nach den vorher angestellten Prüfungen auch zu erwarten ist, ein völlig anderes Ergebnis. Es werden hierzu die 10 Fabrikate im Normalmischungsverhältnis angerührt, flach auf der Glasplatte ausgestrichen und so auf die Froschzungen gebracht. In derselben Weise wie beim Phosphatzement werden dann nach bestimmten Zeiten die Zungen freigelegt und die Oberflächengefäße kontrolliert. Der Erfolg ist bei den 10 verschiedenen Zementen gleichmäßig und eindeutig. Nach einer Minute Liegezeit ist Gefäßerweiterung mit Blutfülle zu beobachten, nach drei Minuten die ersten Stauungserscheinungen und nach sechs bis sieben Minuten Stase. Bei dieser Versuchsanordnung ist zu berücksichtigen, daß wegen der Zungendicke nur die Kapillaren der Oberfläche sichtbar und zu kontrollieren sind. Die größeren Gefäße liegen tiefer, wodurch ein so differenziertes Bild der Reaktion, wie sie der Zungenrand bietet, nicht vermittelt wird. Jedoch kann hier auch darauf verzichtet werden, da der Ablauf der Vorgänge durch die vorhergehenden Versuchsreihen bereits festgelegt ist und es lediglich auf den Vergleich mit der parallel laufenden Prüfung des Phosphatzements ankommt. Die Stasen nun, welche durch die Silikatzemente hervorgerufen werden, lösen sich nicht wieder. Die zerstörende Wirkung, welche durch die abbindenden Zemente hervorgerufen ist, zeigt sich nicht nur in der Kreislaufreaktion, sondern findet ihren Niederschlag auch in der schweren Schädigung des ganzen Gewebes. Die Schleimhaut schrumpft und trocknet ein, nach Ablauf einer Stunde ist die ganze Oberfläche nekrotisch.

Die konstanten Ergebnisse dieser in vielfacher Wiederholung durchgeführten Untersuchungsreihen lassen es zu, ein Urteil über die Sili-

katzemente abzugeben sowie die aufgeworfene Frage nach ihrer schädigenden Wirkung zu beantworten.

Die Prüfungsresultate zeigen, daß die Behauptungen der Herstellerfirmen, ihre Silikatzemente seien absolut unschädlich für die Pulpa und könnten bedenkenlos ohne Unterfüllungen oder Lacke zum Füllen von Kavitäten verwendet werden, nicht den Tatsachen entsprechen. Es steht eindeutig fest, daß trotz peinlichster Beobachtung der Vorschriften für die Verarbeitung diese Zemente während des Abbindevorgangs derart schwere Schädigungen auf lebendes Gewebe ausüben, daß es zur Nekrose kommt. Selbst bei Anwendung eines exakt berechneten Mischungsverhältnisses kann dieses nicht verhindert werden. Ebenso bringt die Aenderung des Pulver- oder Flüssigkeitsquantums keine Abhilfe. Welche Faktoren hier zur Wirkung kommen, steht nicht fest, jedoch gibt das Bild der auftretenden Nekrose zu der Annahme Anlaß, daß unter anderem der stark wasserentziehende Einfluß freier Säure, welche nach Andresen in Silikatzementfüllungen vorhanden ist und von Dieck und Lüthy nachgewiesen wurde, noch immer eine Rolle spielt.

Dagegen zeigt die Prüfung des Phosphatzements, daß dieses keinerlei Noxe ausübt. Es ist nicht die geringste Reaktion im Gefäß- und Gewebsapparat zu verzeichnen. Das unterstreicht die schon seit langem gemachte klinische Erfahrung, daß es sich hier um ein absolut unschädliches Füllungsmaterial handelt. Masur, welcher zuerst überschüssige Phosphorsäure als schädigenden Faktor nennt, verwendet es schon als Unterfüllung unter Silikatzementen, ebenso spricht Fasoli sich dafür aus. Wenn Hattyasi als einziger Pulpen unter Phosphatzementfüllungen absterben sieht, so ist das keine Kontraindikation für dieses Zement. Derartige Resultate sind entweder auf die Verarbeitung oder die Kavitätenpräparation zurückzuführen.

Gewiß ist es nicht abzustreiten, daß unter Phosphatzement Pulpenveränderungen auftreten, aber zur Nekrose kommt es nach dem Urteil aller anderen Autoren nicht. Rebel führt derartige Reaktionen auf die Durchschneidung der Odontoblastenausläufer zurück, da bei jeder Läsion des Dentins das Pulpengewebe in einer bestimmten Weise reagiert. Das trifft somit für jede Art von Füllung zu, wie Rebel für Guttapercha und Amalgam, Hattyasi für Amalgam und Fasoli für Zinkphosphatzement nachweisen. Es kommt dabei an der Peripherie der Pulpa zur Bildung von Sekundärdentin durch die Odontoblasten, welche einen chemischen, thermischen oder mechanischen Reiz auf dem Wege der protoplasmatischen Leitung innerhalb der Neumann'schen Scheide erhalten. Tritt nun jedoch die schwere Noxe durch ein Silikatzement ein, so wird das Odontoblastenlager selbst geschädigt und die Reizdentin-

bildung unterbleibt. Der Weg in das ungeschützte Pulpengewebe ist somit frei. Für das Phosphatzement kann jedenfalls festgestellt werden, daß die Ergebnisse der vorgenommenen Untersuchungen die Ausführungen Andresens unterstreichen.

Damit wird das Phosphatzement die geeignete Unterfüllung für Silikatzemente. Es ist dies die einzige Möglichkeit, einen nach jeder Richtung hin wirksamen Schutz für die Pulpa zu erreichen, denn daß andere Mittel, wie Lacke oder alkalische Lösungen keine zuverlässige Sicherung darstellen, wurde bereits ausgeführt.

Das Schlußresultat dieser Versuche kann daher in der Forderung zusammengefaßt werden, unter keinen Umständen eine Silikatzementfüllung ohne eine Phosphatzementunterfüllung zu legen. Ein Verstoß gegen dieses Gebot der unbedingten Notwendigkeit ist als Fahrlässigkeit zu betrachten. Die Schuld, daß die Furcht vor der schädigenden Wirkung der Silikatzemente heute in völlig ungerechtfertigter Weise abgenommen hat, trifft in allererster Linie die Herstellerfirmen. Nachdem die Auseinandersetzungen der Wissenschaftler, anscheinend infolge der Fruchtlosigkeit der Bemühungen, Abhilfe schaffen zu können, über die Silikatzemente mehr und mehr zum Schweigen gekommen waren und dieses Thema an aktuellem Interesse verloren hatte, tauchten in schneller Reihenfolge die Fabrikate auf, die als gänzlich reizlos für die Pulpa hingestellt werden. Der Praktiker wird getäuscht durch die pseudo-wissenschaftliche Reklame und ist der Meinung, daß nun tatsächlich das langersehnte Ziel erreicht sei. Und daraus ergibt sich die zweite Forderung: die sofortige Abstellung dieser die wahren Tatsachen entstellenden Anpreisung.

Wenn dem entgegengehalten wird, daß durchaus nicht unter jeder Silikatzementfüllung ohne Unterfüllung die Pulpa abstirbt, so ist das eine sehr schwer zu beweisende Behauptung, die außerdem relativer Natur ist. Gewiß ist es möglich, daß gegenüber der Noxe kleiner, pulpenfern gelegter Silikatfüllungen viele Pulpen eine genügende Widerstandskraft besitzen und durch rechtzeitige Reizdentinbildung der Schädigung begegnen können, aber welcher Praktiker vermag zu entscheiden, wenn er eine Füllung legt, ob die Pulpa resistent genug ist oder nicht. Schon kleinste Silikatfüllungen haben zur Nekrose geführt. Bei pulpennah gelegenen, ungeschützten Füllungen kommt es in den meisten Fällen zum Pulpentod, wie tagtäglich die Praxis beweist. Oft werden nur solche Pulpennekrosen garnicht bemerkt, da der Verlauf chronischen Charakter besitzt und bei fehlender Infektion auch keine Gangrän auftritt, sodaß meist Schmerzen ausbleiben. Erkannt wird dieser Zustand zumeist erst bei einer Vitalitätsprüfung, die aus irgendeinem anderen Grunde durchgeführt wird, ohne daß der betreffende Zahn dazu den Anlaß gegeben

hätte. Derartige, durch Silikatzementfüllungen der Nekrose verfallenen Zähne weisen auch durchaus nicht immer Verfärbungen oder erkennbare Veränderungen in der Transparenz auf. Darum ist die Annahme berechtigt, daß es weit mehr auf diese Art geschädigte Pulpen gibt, als genau nachzuweisen ist.

Wenn es auch in den dreieinhalb Jahrzehnten seit der Einführung der Silikatzemente gelungen ist, die Transparenz, die Kontraktion sowie die Beständigkeit gegenüber Farbstoffen und Speichel auf ein Höchstmaß an Vollkommenheit zu bringen, so ist das wichtigste, die Unschädlichkeit für die Pulpa, bisher unerfüllt geblieben.

In den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts hat der Pariser Apotheker C. S. Rostaing ein plastisches und transparentes Füllungsmaterial, das Dentinagene, herausgebracht, welches wegen seiner Schmelzähnlichkeit gerühmt wurde. Es soll auch absolut unschädlich für die Pulpa gewesen sein, doch ist das Rezept Geheimnis seines Herstellers geblieben.

Literaturverzeichnis.

Abraham: Pulpentod unter Silikatzementen. D. M. f. Z. 1913 S. 532.

Andresen: Ueber Silikatzemente. D. M. f. Z. 1913 H. 9.

Dieck: Ueber methodische Prüfung der Silikatzemente. D. M. f. Z. 1922 H. 22.

Dietrich: Allgemeine Pathologie. Verlag Hirzel. Leipzig.

Eberly: Bestrebungsversuche, die Irritation der Zahnpulpa durch Silikatzemente auszuschalten. Z. f. St. 1934 H. 19.

Fasoli: Silikatzemente und Pulpaveränderungen. Z. f. St. 1924 H. 4.

— —: Pulpanekrose unter Silikatzementfüllungen. F. d. Z. 1933 II. H. 7.

Feiler: Das Absterben der Pulpa unter Füllungen. Z. R. 1932 Nr. 21 und 22.

Filderman: Schutz der Pulpa gegen transluzide Zemente. F. d. Z. 1932 II. H. 7.

Fischer: Ueber Pulpatod unter Füllungen. D. Z. W. 1932 H. 14.

Gebert: Experimentelle Untersuchungen zur Frage des Pulpenschutzes durch Lacke unter Silikatzementfüllungen. D. M. f. Z. 1933 H. 5.

Gerb: Die Silikatzemente im Lichte der Theorie der Lösungen. D. Z. W. 1933 H. 6.

Geyer: Zur Frage des Absterbens der Pulpa unter Silikatfüllungen. Z. R. 1933 Nr. 19.

— —: Ueber die Anpreisung zahnärztlicher Medikamente und Materialien. Z. M. 1939 Nr. 21.

Gierke: Bildet die Jacobsen'sche Unterfüllung einen wirksamen Schutz für die Pulpa? D. M. f. Z. 1924 Nr. 1.

Haas: Ueber den Schutz von Pulpen unter Silikatfüllungen. Z. R. 1921 Nr. 51 u. 52.

Hansemann: Ueber einige neue Kieselsäurepräparate. Z. f. St. 1934 H. 15.

Hattyasi: Untersuchungsergebnisse über die Wirkung einiger Zahnfüllungsmittel auf die Pulpa. F. d. Z. 1930 II. S. 518.

— —: Pulpenveränderungen unter Zementen und deren praktische Wertung. Z. f. St. 1933 H. 3.

Hellner: Untersuchungen über reaktive Veränderungen im Pulpagewebe bei Verwendung verschiedener sog. Isolierungsmittel und Füllungsmaterialen. F. d. Z. 1930 II. S. 410.

Heß: Die Verhütung des Pulpentodes durch die Anwendung von Pulpacol. Z. f. St. 1934 H. 19.
Kulka: Aschers künstlicher Zahnschmelz. Oe. U. V. f. Z. 1905 H. III.
Linka: Neue Methhode, die synthetischen Porzellanfüllungen für die Pulpa unschädlich zu machen und ihre Haftung am Zahnbein zu erreichen. F. d. Z. 1931 II. S. 546.
Lüthy: Untersuchungen von Silikatzementen. Z. f. St. 1933 H. 6.
Masur: Zur Kritik der neuen Porzellanzemente. D. Z.W. 1905 Nr. 17.
Palazzi: Ueber die anatomischen Veränderungen der Zahnpulpa im Gefolge von Silikatzementfüllungen. Z. f. St. 1923 S. 279.
— —: Einige Konklusionen aus meinen dreijährigen Experimenten über die Veränderungen der Zahnpulpa nach Füllungen mit Silikatzementen. Z. f. St. 1924 Nr. 4.
Proell: Experimentelle Untersuchungen. D. M. f. Z. 1913 S. 81.
Rawitzer: Chemie der Silikatzemente. D. M. f. Z. 1909 Nr. 4.
Rebel: Haben unsere Aluminiumphosphatfüllungen (Silikatzemente) eine spezifisch schädigende Wirkung auf die Pulpa? D. M. f. Z. 1922 H. 24.
Richter: Weitere Erfahrungen und Versuche mit Silikatzementen. D. M. f. Z. 1910 Nr. 6.
Rohrer: Experimentelle Ergebnisse über die Schädlichkeit der Silikatzemente. Z. f. St. 1923 Nr. 11.
Tuchler: Einiges über die Erfolgsicherheit und neue Möglichkeiten der Tiranal-Indikationen. Z. f. St. 1935 H. 15.
Wannenmacher: Silikatzemente. F. d. Z. 1927 I. S. 919.
Wiesner: Durosim, die Lösung der Silikatfrage. Z. R. 1933 Nr. 33.
Wustrow: Ueber den Schutz der Pulpa unter Silikatzementfüllungen. Z. R. 1921 H. 28.
— —: Pulpenschädigungen durch unsere Zemente und ihre Bedeutung für die prothetische und konservierende Zahnheilkunde. D. M. f. Z. 1922 H. 24.

Lebenslauf.

Ich bin am 15. März 1914 in Bremen geboren, Sohn des Landgerichtsdirektors Dr. jur. Emil Georg Warneken und seiner Ehefrau Elsa, geb. Köhne. Nach dreijährigem Besuch der Volksschule kam ich Ostern 1923 auf das Humanistische Gymnasium und Ostern 1928 auf die Deutsche Aufbauschule in Bremen, an welcher ich im Frühjahr 1934 die Reifeprüfung ablegte und die Hochschulreife erhielt. Im Sommersemester 1934 begann ich an der Universität Tübingen mit dem Studium der Zahnheilkunde, bestand dort im Frühjahr 1936 die zahnärztliche Vorprüfung und setzte darauf das Studium an der Hansischen Universität in Hamburg fort. Nach der Rückkehr an die Universität Tübingen im Wintersemester 1936/37 erhielt ich am 16. Mai 1938 nach bestandener Prüfung die Approbation als Zahnarzt.

Hans Heinrich Warneken.